

SKRIPSI

**SISTEM KONTROL *STEERING* PADA *HARDWARE IN THE LOOP*
MOBIL LISTRIK MENGGUNAKAN METODE LOGIKA *FUZZY***



**Disusun untuk Memenuhi Syarat Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik pada
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya**

Oleh:

Wirawan Dwi Harsanto

03041281621057

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2020

LEMBAR PENGESAHAN
SISTEM KONTROL *STEERING* PADA *HARDWARE IN THE LOOP*
MOBIL LISTRIK MENGGUNAKAN METODE LOGIKA FUZZY



SKRIPSI

Disusun untuk Memenuhi Syarat Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik pada

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik


Universitas Sriwijaya

Oleh:

Wirawan Dwi Harsanto


03041281621057

**Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro**




Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.T., Ph.D.
NIP : 197108141999031005

**Indralaya, Desember 2020
Menyetujui,
Pembimbing Utama**



Dr. Bhakti Yudho Suprpto, S.T., M.T.
NIP : 1975021120031210

Saya sebagai Pembimbing dengan ini menyatakan bahwa saya telah membaca dan menyetujui skripsi ini dalam pandangan saya ruang lingkup dan kualitas skripsi ini mencukupi sebagai skripsi mahasiswa sarjana stars satu (S1).

Tanda Tangan :  _____

Pembimbing Utama : Dr. Bhakti Yudho Suprpto, S.T.,M.T.

Tanggal : 12 / 01 / 2021

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Wirawan Dwi Harsanto

NIM : 03041281621057

Fakultas : Teknik

Jurusan/Prodi : Teknik Elektro

Universitas : Sriwijaya

Hasil Pengecekan Software iThenticate/Turnitin : 10%

Menyatakan bahwa tugas akhir saya yang berjudul “Sistem Kontrol *Steering* pada *Hardware In The Loop* Mobil Listrik Menggunakan Metode Logika *Fuzzy*” merupakan hasil karya sendiri dan benar keasliannya. Apabila ternyata dikemudian hari ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam karya ilmiah ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya dan tanpa paksaan.

Indralaya, 21 Desember 2020



Wirawan Dwi Harsanto

NIM. 03041281621057

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan kepada Alla SWT atas ridho-Nya. Berkat rahmat-Nya, penulis dapat membuat skripsi ini yang berjudul “Sistem Kontrol Steering Hardware In The Loop Mobil Listrik Menggunakan Metode Fuzzy”.

Pembuatan skripsi ini sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya. Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro dan Ibu Dr. Herlina, S.T., M.T. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro.
2. Bapak Dr. Bhakti Yudho Suprpto, S.T., M.T. selaku pembimbing tugas akhir ini.
3. Dosen Pembimbing akademik, Ibu Desi Windi Sari, S.T., M.Eng. yang telah membimbing penulis selama masa perkuliahan dan memberi saran serta masukan dalam pengambilan mata kuliah.
4. Segenap Dosen Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya yang telah memberikan ilmu selama perkuliahan.
5. Orang tua, saudara, keluarga yang selalu memberikan semangat dan memberi dukungan baik secara mental, fisik, dan material.
6. Hari Handika Setiawan dan Radius Tri Raharjo selaku rekan pembuatan tugas akhir ini.
7. Teman-teman dari Teknik Elektro dan Klub Robotika Unsri yang sudah membatu dan memberikan dukungan.
8. Teman-teman dari Perumahan Pondok Hijau yang memberi dukungan secara mental.
9. Teman-teman dari SMAN 66 Jakarta yang memberikan dukungan secara mental.

10. Pihak-pihak lain yang membantu dalam penulisan skripsi tugas akhir ini yang tidak dapat Penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari adanya kekurangan dalam penulisan usulan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat dan wawasan yang lebih luas kepada pembaca. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan agar dapat menjadi evaluasi yang baik dan berguna untuk perbaikan kedepannya.

Palembang, 22 Desember 2020



wirawan Dwi Hasanto

NIM. 03041281621057

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS	iii
HALAMAN PERNYATAAN DOSEN.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	vii
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR RUMUS	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan Penelitian.....	2
1.4. Pembatasan Masalah	2
1.5. Sistematika Penulisan	3
1.6. Keaslian Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. <i>State Of The Art</i>	6
2.2. Algoritma logika <i>fuzzy</i>	9
2.3. Pendeteksi Objek	12
2.4. Perangkat Lunak (<i>Software</i>).....	13
2.4.1 Arduino IDE	13
BAB III METODE PENELITIAN	14
3.1. Studi Literatur.....	14

3.2.	Pengambilan Data.....	15
3.3.	Rancangan Pengujian	15
3.3.1	Perangkat Keras (<i>Hardware</i>).....	15
3.4.	Pengujian	22
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		23
4.1.	Perancangan HIL	23
4.2.	Pengujian Sistem <i>Fuzzy</i>	25
4.3.	Hasil Pengujian Sistem pada HIL.....	27
4.4.	Analisa Hasil Pengujian	36
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		38
5.1.	Kesimpulan.....	38
5.2.	Saran	38
DAFTAR PUSTAKA.....		39
LAMPIRAN.....		41

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Perbandingan steering angles ketika menggunakan logika fuzzy dan tanpa menggunakan logika fuzzy.	6
Gambar 2.2	<i>Respons</i> kendaraan ketika bermanuver.....	7
Gambar 2.3	Perfoma <i>speed tracking</i> pada kecepatan rendah.....	7
Gambar 2.4	Hasil simulasi sistem <i>steering</i>	8
Gambar 2.5	Akselerasi <i>body lateral</i>	8
Gambar 2.6	Arsitektur kontroler <i>fuzzy</i>	10
Gambar 2.7	Susunan sistem <i>fuzzy</i> [13].....	10
Gambar 2.8	Diagram blok sistem inferensi <i>fuzzy</i> Tsukamoto.....	12
Gambar 2.9	Tampilan utama Arduino IDE	13
Gambar 3.1	<i>Flowchart</i> Langkah Penelitian	14
Gambar 3.2	Perancangan dan simulasi HIL.....	16
Gambar 3.3	Arduino Mega.....	18
Gambar 3.4	Sensor <i>Ultrasonic</i> Maxbotix MB1220 (a), Sensor <i>Ultrasonic</i> Maxbotix MB7076 (b).....	18
Gambar 3.5	Motor DC dengan <i>Encoder</i>	19
Gambar 3.6	Driver Motor BTS 7960	20
Gambar 3.7	Hall Magnetic Module KY-003.....	21
Gambar 3.8	LCD dengan I2C 16x2.....	22
Gambar 4.1	Tampak Depan <i>Hardware In The Loop</i>	23
Gambar 4.2	Tampak Samping <i>Hardware In The Loop</i>	24
Gambar 4.3	Tampak Atas <i>Hardware In The Loop</i>	25
Gambar 4.4	Kurva Baku Untuk Variabel Sensor <i>Ultrasonic</i>	25
Gambar 4.5	Kurva Baku Untuk Variabel Derajat <i>Steer</i>	26
Gambar 4.6	Kurva Baku Untuk Variabel Kecepatan Roda HIL.....	26
Gambar 4.7	Aturan <i>Fuzzy</i>	27
Gambar 4.8	Berbelok Kanan 5°	33
Gambar 4.9	Berbelok Kanan 10°	33
Gambar 4.10	Berbelok Kanan 15°	34

Gambar 4.11	Berbelok Kanan 25°	34
Gambar 4.12	Berbelok Kanan 30°	34
Gambar 4.13	Berbelok Kiri 5°	35
Gambar 4.14	Berbelok Kiri 10°	35
Gambar 4.15	Berbelok Kiri 15°	35
Gambar 4.16	Berbelok Kiri 25°	36
Gambar 4.17	Berbelok Kiri 30°	36

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Presentase Keberhasilan.....	27
Tabel 4.1	Hasil Pengujian HIL.....	28

DAFTAR RUMUS

Rumus 2.1	Rumus Aturan Fuzzy secara Umum	11
Rumus 4.1	Rumus Keliling Lingkaran	31
Rumus 4.2	Rumus RPM.....	31
Rumus 4.3	Rumus Kecepatan dengan Satuan m/s.....	32
Rumus 4.4	Rumus Kecepatan dengan Satuan Km/h.....	32

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran I Gambar Derajat Putar *Steer*

Lampiran II Keberhasilan Sistem

Lampiran III Lampiran Program

ABSTRAK

SISTEM KONTROL *STEERING* PADA *HARDWARE IN THE LOOP* MOBIL LISTRIK MENGGUNAKAN METODE LOGIKA *FUZZY*

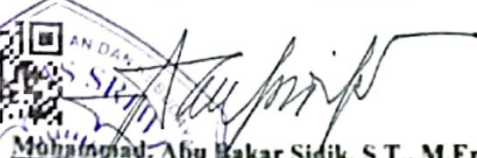
(Wirawan Dwi Harsanto, 03041281621057, 2020, xi + 36 Hal + Lampiran)


Mobil merupakan sebuah kebutuhan dan alat transportasi yang memudahkan kita dalam berpergian. Banyak jenis dan produk mobil yang telah dikembangkan sekarang, salah satunya adalah mobil listrik dikarenakan Bahan Bakar Minyak fosil sudah mulai menipis ketersediaannya. Sistem kontrol otomatis seperti kemudi (*steering*) dan kontrol kecepatan adalah tugas kompleks yang berfungsi sebagai hal mendasar bagi semua sistem otomatis di mobil yang *autonomous*. Sehingga dikembangkan suatu metode logika *fuzzy* dengan input dari sensor *Ultrasonic Maxbotix* untuk mendeteksi objek dengan jarak terjauh sebesar 10 meter dan terdekat 0.3 meter, sehingga *steer* dari *Hardware In The Loop* dapat berbelok menghindari objek terdeteksi. Untuk output dari sistem ini adalah derajat putar *steer* dan kecepatan roda *Hardware In The Loop*. Berdasarkan pengujian sistem ini, ketelitian derajat putar *steer* adalah 5° dan putaran maksimalnya adalah 30° , sedangkan untuk kecepatan tertinggi roda belakang adalah 15 Km/h dan yang terendah adalah 0 Km/h. Sistem *steering* pada *Hardware In The Loop* ini memiliki ketelitian yang cukup bagus untuk meningkatkan kehalusan (*smoothness*) ketika berbelok.

Kata Kunci : *Logika Fuzzy, Autonomous Electric Vehicle, Hardware In The Loop, Ultrasonic Maxbotix, Deteksi Objek*

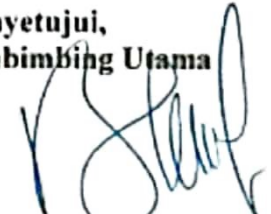
Palembang, Desember 2020

Mengetahui,
Ketua jurusan Teknik Elektro


Mohammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP. 197108141999031005



Menyetujui,
Pembimbing Utama


Dr. Bhakti Yudho Suprpto, S.T., M.T.
NIP. 197502112003121002

ABSTRACT

CONTROL STEERING SYSTEM IN ELICTRIC VEHICLE HARDWARE IN THE LOOP BASED ON FUZZY LOGIC


(Wirawan Dwi Harsanto, 03041281621057, 2020, xi + 36 Pages + Appdendices)


A car is a necessity and a means of transportation that makes it easier for us to travel. Many types and products of cars have been developed now, one of which is electric cars, because fossil fuels have started to deplete. Automatic control systems such as steering and speed control are complex tasks that serve as fundamental to all automatic systems in autonomous cars. So that a fuzzy logic method was developed with input from the Ultrasonic Maxbotix sensor to detect objects with the farthest distance of 10 meters and the furthest 0.3 meters, so that the steer from Hardware In The Loop can turn to avoid the detected object. The output of this system is the degree of rotation of the steer and the wheel speed of Hardware In The Loop. Based on the test of this system, the accuracy of the degree of rotation of the steer is 5° and the maximum rotation is 30° , while the highest speed of the rear wheels is 15 Km / h and the lowest is 0 Km / h. The steering system on the Hardware In The Loop has pretty good accuracy to improve smoothness when turning.

*Keyword : Fuzzy Logic, Autonomous Electric Vehicle, Hardware In The Loop,
Ultrasonic Maxbotix, Object Detection*

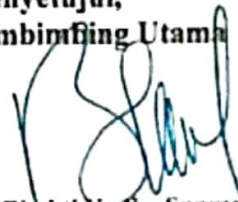
Palembang, Desember 2020

**Mengetahui,
Ketua jurusan Teknik Elektro**


Muhammad Abu Bakar Sidik, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP. 197168141999031005



**Menyetujui,
Pembimbing Utama**


Dr. Bhakti Yudho Suprpto, S.T., M.T.
NIP. 197502112003121002

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Mobil merupakan sebuah kebutuhan dan alat transportasi yang memudahkan kita dalam berpergian. Banyak jenis dan produk mobil yang telah dikembangkan sekarang, salah satunya adalah mobil listrik dikarenakan Bahan Bakar Minyak fosil sudah mulai menipis ketersediaannya. Sistem kontrol otomatis seperti kemudi (*steering*) dan kontrol kecepatan adalah tugas kompleks yang berfungsi sebagai hal mendasar bagi semua sistem otomatis di mobil yang *autonomous*. Untuk mengatur kecepatan kendaraan dengan perubahan signifikan pada kemudi dan mencapai tujuan dengan mengoptimalkan waktu dan lintasan[1].

Sistem kontrol pada *hardware in the loop* (HIL) mobil listrik memiliki prinsip kerja seperti robot menghindari halangan yang menggunakan sensor sebagai acuan dalam menghindari halangan. Pengaplikasian *obstacle avoidance robot* mendapatkan masukan sistem dari sensor *Ultrasonic* untuk menghasilkan gerakan menuju ke sasaran yang diinginkan. Masukan sistem ini dapat menggunakan sebuah kamera sebagai sensor pada *obstacle avoidance robot*[2]. Fungsi yang diharapkan pada HIL yang dengan prinsip kerja penghindar halangan adalah untuk memudahkan kinerja dari sistem pengendali pada *steering* mobil listrik bekerja secara optimal saat diaplikasikan secara langsung. Misi yang dilakukan pada kontrol *steering* HIL mobil listrik ini adalah menghindari sebuah halangan atau berbelok dengan optimal dan secara halus (*smooth*) dengan bergerak secara *autonomous*.

Terdapat beberapa metode untuk sistem kontrol otomatis pada *steering* dan kecepatan mobil listrik[3]. Pada penelitian ini penulis menggunakan metode logika *fuzzy*. Metode kontrol *fuzzy* ditujukan untuk meningkatkan stabilitas sumbu yaw kendaraan[4], dalam hal ini adalah stabilas mobil saat berbelok. Kontroler logika *fuzzy* memiliki efek kontrol yang baik terutama untuk objek

dengan sifat *non-linear* atau objek yang modelnya sangat sulit dibuat secara akurat. Untuk meningkatkan kinerja, teori kontrol logika *fuzzy* diterapkan pada pengembangan algoritma kontrol [5]. Sedangkan PID membawa kelemahan Proporsional, Integral dan Diferensialnya[6]. Dan juga penggunaan PID kontroler dalam suatu sistem mempunyai kelemahan, yakni bahwa parameter-parameter dalam kontroler harus selalu diubah (*tuned up*) bila terjadi perubahan didalam sistem, perubahan tersebut akan menyebabkan terjadinya tuning kembali dari parameter-parameter PID tersebut[7].

Keunggulan dari menerapkan logika *fuzzy* pada masalah kontrol adalah memungkinkan untuk membuat keputusan yang presisi dengan data yang tidak akurat dan tidak lengkap[8]. Dikarenakan penggunaan *Electronic Power Steering* lebih baik dibandingkan dengan *Hydraulic Power Steering* dalam hal kehematan energy, struktur yang lebih simpel, dan lain-lain [9]. Logika *fuzzy* juga bisa langsung digunakan pada parameter yang berubah-ubah dan juga pada pengukuran sensor yang tidak presisi [10]. Maka penulis akan menggunakan metode logika *fuzzy* pada *hardware in the loop* sebagai tugas akhir.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka peneliti mengambil rumusan masalah yaitu melakukan *control steering* mobil dengan menggunakan logika *fuzzy*.

1.3 Tujuan Penulisan

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah mengembangkan logika *fuzzy* untuk kontrol steering sehingga tercapainya peningkatan akurasi dan tingkat kehalusan (*smoothness*) dari sistem *steering* pada mobil *autonomous* ketika berbelok atau menghindari halangan.

1.4 Pembatasan Masalah

Lingkup kerja pada penelitian ini adalah :

1. Metode yang digunakan adalah metode logika *fuzzy*

2. *Hardware in the loop* akan menggunakan sensor *Ultrasonic Maxbotix* sebagai pengganti dari sensor kamera.
3. Pergerakan mobil listrik dibuat menggunakan kamera sebagai sensor dan motor *DC* untuk penggerak *steer*.

1.5 Sistematika Penulisan

Adapun Sistematika Penulisan dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini membahas mengenai latar belakang masalah, tujuan penulisan, perumusan masalah, pembatasan masalah, metodologi penulisan, serta sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas mengenai dasar teori yang berkaitan dengan tugas akhir serta metode logika *fuzzy*. Dan perangkat-perangkat yang digunakan pada penelitian ini

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisikan penjelasan mengenai perancangan sistem program yang dituangkan ke dalam suatu diagram blok, *flowchart*, prosedur pengambilan data, data-data yang dibutuhkan dan langkah-langkah penyelesaian masalah yang dibahas dan analisa dari tiap – tiap *flowchart*.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas tentang jalan kerja sistem kontrol *steering* dan hasil pengujian tingkat akurasi serta kehalusan (*smoothness*) ketika berbelok pada keluaran sistem dari program tersebut yang telah diolah dengan metode logika *fuzzy*.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi kesimpulan dari seluruh uraian dan pembahasan sebelumnya, serta saran sebagai masukan dari pembahasan yang bersangkutan

1.6 Keaslian Penelitian

Penelitian yang dilakukan ini berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya, yaitu :

Nam Dinh Van dan Gon-Woo Kim membahas mobil *autonomous* dengan menggunakan kombinasi metode logika *fuzzy* dan *deep steering control*[1]. Selain itu, adanya perbandingan output ketika menggunakan logika *fuzzy* dan tidak menggunakan logika *fuzzy*. Kelebihan dari jurnal penelitian ini adalah penjelasannya sangat lengkap, berdasarkan hasil penelitiannya tingkat kebenarannya bernilai bagus saat logika *fuzzy* dan training dari *deep steering control*. Tetapi pada penelitian ini masih terdapat ketidakstabilan pada sistem kontrol *steering* dengan menggunakan metode logika *fuzzy*.

Bayu Dadang Pribadi, Helmy Widyantara dan Harianto membahas tentang penggunaan sensor *Ultrasonic Distance* atau kamera sebagai inputan untuk menghasilkan gerakan menuju suatu lokasi yang sudah di tentukan serta menggunakan sistem kontrol PID dan. Kelebihan dari jurnal ini adalah menampilkan data yang lengkap, sedangkan kekurangannya adalah tidak adanya perbandingan saat menggunakan kontrol PID dan tidak menggunakan kontrol PID. Tetapi dari hasil penelitian yang digunakan hanya kontrol P sehingga kontrol PID tidak terlalu optimal[2].

Selanjutnya adalah penelitian yang dilakukan oleh WU Yihu, SONG Dandan, HOU Zhixiang, dan YUAN Xiang yang menggunakan kontrol *fuzzy* untuk meningkatkan stabilitas *Yaw*. kontroler *fuzzy* dalam penelitian ini dirancang untuk menekan kesalahan keluaran sistem dari tingkat sudut yaw dan *side slip*, sehingga kendaraan yang dikendalikan memiliki kemampuan yang baik dalam mengikuti

lintasan[4]. Kelebihan dari jurnal penelitian ini adalah data yang ditampilkan lengkap dengan perbandingan ketika menggunakan sistem kontrol dan tidak menggunakan sistem kontrol. Tetapi kekurangannya adalah nilai error masih lumayan jauh dari nilai referensi.

Selanjutnya penelitian yang dilakukan oleh Kodagoda K, dkk, mengenai pengembangan logika *fuzzy* untuk diimplementasikan langsung pada kendaraan autonomous. Logika *fuzzy* digunakan untuk memudahkan penggabungan kontrol heuristic, sambil menjaga stabilitas, dan memisahkan kontrol steering dari kontrol kecepatan[11]. kelebihan dari jurnal ini adalah menampilkan data *fuzzy* yang lengkap juga seperti *membership function* dan juga struktur desain kontrol yang dibuat serta perbandingan dengan metode kontrol PID. Dari beberapa hasil pengujian yang dilakukan menunjukkan bahwa metode *fuzzy* lebih baik daripada metode PID untuk hal kontrol *steering*. Walaupun metode fuzzy lebih baik daripada metode PID tetapi nilai yang dihasilkan masih kurang stabil dari nilai referensi yang telah ditentukan.

Selanjutnya adalah penelitian yang dilakukan oleh Yang Nianjong dan Liao Qifeng mengenai desain steer-by-wire berdasarkan metode logika *fuzzy* dan metode kontrol PID[3]. Dalam penelitian ini menggunakan metode logika *fuzzy* dan dikombinasikan dengan kontrol PID untuk mengontrol *steering* yang terhubung dengan motor torsi di *real time*. Kelebihan dari jurnal ini adalah memiliki penjelasan yang lengkap dan hasil dari penelitian ini jelas seperti ada perbandingan hasil simulasi saat menggunakan kontroler fuzzy-PID dan saat tidak menggunakan kontroler[12]. Tetapi sistem ini masih kurang stabil jika dilihat dari nilai yang diinginkan.[13]

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. D. Van and G. Kim, "Fuzzy Logic and Deep Steering Control based Recommendation System for Self-Driving Car," *2018 18th Int. Conf. Control. Autom. Syst.*, no. Iccas, pp. 1107–1110, 2018.
- [2] B. Dadang Pribadi, H. Widyantara, and Harianto, "Pengendalian Motor DC Brushless Dengan PID pada Robot Penghindar Halangan (Obstacle Avoidance Robot)," *Jcones*, vol. 3, no. 1, pp. 61–69, 2014.
- [3] N. Yang and Q. Liao, "Design and simulation for steer-by-wire system based on fuzzy-PID," in *Proceedings - 2015 7th International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics, IHMSC 2015*, 2015, vol. 1, pp. 291–294.
- [4] Y. Wu, D. Song, Z. Hou, and X. Yuan, "A fuzzy control method to improve vehicle yaw stability based on integrated yaw moment control and active front steering," *Proc. 2007 IEEE Int. Conf. Mechatronics Autom. ICMA 2007*, vol. 2, pp. 1508–1512, 2007.
- [5] G. Zhanfeng, W. Wenjiang, Z. Jianhua, and S. Zhanpeng, "Electric power steering system based on fuzzy PID control," *ICEMI 2009 - Proc. 9th Int. Conf. Electron. Meas. Instruments*, pp. 3456–3459, 2009.
- [6] M. Restu and S. Bakhri, "Perbandingan Sistem Pengontrolan PID Konvensional dengan Pengontrolan CMAC , Fuzzy Logic dan ANN Pada Water Level Pressurizer," vol. 17, no. 3, pp. 129–141, 2013.
- [7] N. Allu, R. S. Sadjad, and F. A. Samman, "Pengendalian Kecepatan Motor Arus Searah Terkendali Jangkar dengan Pengendali PID Tertala Berbasis Perhitungan Nilai Akar Kuadrat Rata-rata," 2017. [Online]. Available: <https://id.scribd.com/document/337750476/Jurnal-Tesis-motor-Dc>.
- [8] L. Ibarra and C. Webb, "Advantages of Fuzzy Control While Dealing with Complex/ Unknown Model Dynamics: A Quadcopter Example," in *New Applications of Artificial Intelligence*, 2016, pp. 93–121.
- [9] C. Yuan, L. Chen, S. Wang, and H. Jiang, "M Control of Vehicle Active Suspension and Electric Power Steering System," *2010 Chinese Control Decis. Conf. CCDC 2010*, no. m, pp. 45–49, 2010.
- [10] P. Albertos, A. Sala, and M. Olivares, "Fuzzy Logic Controllers. Methodology, Advantages and Drawbacks," no. September, 2000.
- [11] K. R. S. Kodagoda, W. S. Wijesoma, and E. K. Teoh, "Fuzzy speed and steering control of an AGV," *IEEE Trans. Control Syst. Technol.*, vol. 10, no. 1, pp. 112–

120, 2002.

- [12] J. George and T. J. Klir, *Fuzzy Set Theory: Foundation and Application*. New York: Prentice-Hall PTR, 1997.
- [13] B. Baasandorj, A. Reyaz, P. J. Ho, C. W. Cheol, D. J. Lee, and K. T. Chong, “A mobile robot obstacle avoidance using fuzzy logic and model predictive control,” *Appl. Mech. Mater.*, vol. 548–549, pp. 922–927, 2014.